

## 김포대교의 주요 공법 Major Construction Methods of Kimpo Grand Bridge

박 순 목\*

▲ 김포대교 조감도

### 1. 공사기사 기록에 앞서

1975년 2월 대학을 졸업한 후 건설업에 종사한 지가 이제 성년을 넘고 있으나 아직도 토목인으로서 완숙단계에 왔는지 자신도 매우 의심스러운 지경이다.

‘공사기사’ 원고청탁을 받고 영광스럽기도 했지만 한편으로는 미완의 자신을 생각하면서 유익한 기사가 되도록 최선을 다하고자 한다.

그동안 사우디아라비아, 이라크 등 해외현장을 비롯하여 국내의 오지를 돌면서, 도로, 댐, 항만 등 여러 프로젝트를 수행하였고, 그 구성원으로서 준공후면 좀 더 잘 할 수 있었는데... 하는 아쉬움만은 영원히 뇌리속에서 지워지질 않는다.

얼마전 백운산 산행을 하니 단풍이 절정에 달하

였다. 건설경력 성년기에 결실의 계절 가을을 맞아 정상에 앉아서 지나온 세월들을 새삼 돌이켜 보면서, 한참동안 건설인답지 않은 고독감에 빠진 적이 있다.

현재 수행하고 있는 김포대교 공사만은 한강교량중 품질 최상의 교량을 건설하고 싶고, 공사 완료후 좀 더 잘 하였으면 하는 아쉬움은 남기지 말아야지 하고 다짐해 본다.

### 2. 공사 현황

김포대교의 본 노선인 서울외곽 순환고속도로는 수도권 및 경기지역의 증가하는 교통수요에 대처하여 1988년 2월 착공되었으며, 경부고속도로 판교 J/C를 시점으로 경기도 안양시, 군포시, 부천시를 통과하여 김포군, 고양시, 벽제, 도봉구를 경유 퇴계원, 구리, 하남, 성남, 판교까지 총

\* 정희원, 쌍용건설(주) 공사부장, 토목시공기술사

126km이다.

그중 이미 완공되어 공용중인 구간은 퇴계원, 구리, 판교, 안양까지 43km이고, 30km는 현재 시공중에 있다. 김포대교는 이중 1개 공구에 속한다.

1992년 12월 착공되어 1997년 6월(4년 6월) 준공 예정으로 공사가 진행되고 있다. 수도권 지역 한강교량은 현재 총 23개교이며, 24번째 김포대교가 준공되면 한강 최하류의 강남북(김포-일산)을 잇는 장대교(L=2.28km)가 되겠으며 프리스트레스트 콘크리트 구조물로 시공되고 있다.

### 3. 공사 개요

#### 3.1 현황

공사명 : 서울외곽 순환 고속도로 건설공사(제 19공구)

공사비 : 1,200억

공정 : 61%

공사개요 : 공사연장 3,475m

김포대교 L=2,280m

B=37.8m(8차선)

- bridge section : M.S.S=950m

F.C.M=930m

F.S.M=400m

- interchange : 1개소

- junction : 1개소

- 토공 : 1,270,000m<sup>3</sup>

시행처 : 한국도로공사

시공사 : 쌍용건설주식회사

적용공법 :

표 1 교량 기초 및 상부공법

구분	육상부	수중부
상부	강남 : M.S.S 강북 : F.S.M	F.C.M
하부	현장타설말뚝	우물통

#### 3.2 공사규모

교각 : 68기

투입자재 : 콘크리트 약 217,000m<sup>3</sup>

우물통 : 42기

철근 : 약 36,000톤

현장타설말뚝 : 200공

강선 : 3,700톤

P.C BOX 높이 : 3.0~7.0m

경간장(육상부 : 50m, 수중부 : 125m)

수상부 형하공간 : 평수위시 20m, 홍수시 13m

### 4. 주요 시공법

#### 4.1 대구경 현장타설 말뚝공법

모래, 자갈 및 호박돌을 함유한 충적층, 풍화대층 및 기반암으로 구성되어 있는 김포대교 구간의 기초형식은 F.C.M구간 및 육상부에는 비대칭 하중을 감안하여, 기초의 자중이 크고 횡방향 저항력이 크며 수상구간의 시공성이 양호한 우물통 기초이며, 기타 육상부는 현장타설말뚝(R.C.D)으로 시공하였다.

우물통 공법은 보편화되지 오래되므로 대구경 현장타설말뚝 공법을 간략히 설명하고자 한다.

현장타설말뚝 공법은 일정한 크기의 hole을 drilling한 후 철근망을 삽입하고 콘크리트를 타설하여 말뚝을 조성하는 것으로 공벽 보호방법에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 공벽보호방법
  - With Casing
  - Without Casing
  - With Water Over Pressure
  - With Bentonite Slurry

#### · 현장타설말뚝

- Benoto(All Casing)
- R.C.D(Reverse Circulation Drill)
- Earth Drill
- Barrette
- P.I.P(Packed-In Place Pile)
- M.I.P(Mixed-In Place Pile)

당 현장에서는  $\phi 1,500$ 의 All Casing공법으로 연암층 1.5m를 굴착하여 지지토록 되어 있으므로 순수한 Benoto 굴착방식으로 풍화암이상 연암층 상단까지 Casing을 타입후 R.C.D에 의한 연암층 굴

작 완료하여 철근망근입 및 Tremie 콘크리트 타설하는 Benoto 및 R.C.D의 합성공법으로 시행하였다. 시공순서는 그림 1의 작업흐름도와 같다.

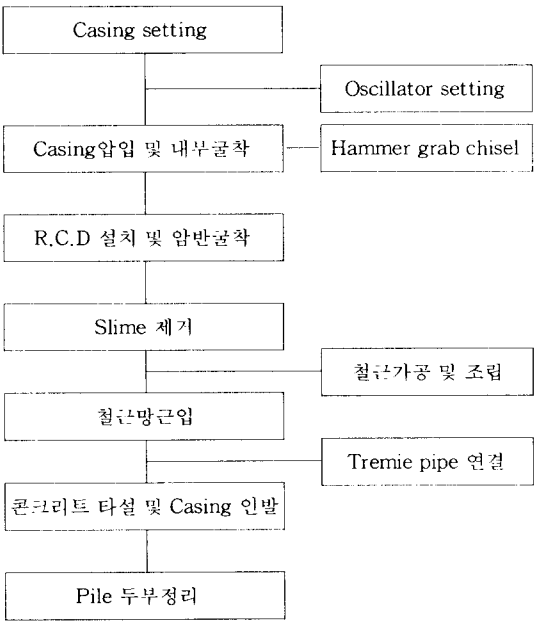


그림 1 작업 흐름도

## 4.2 M.S.S 가설공법

### 4.2.1 개요

이동식 비계공법(Movable Scaffolding System)은 동바리공법이 발전한 형태로 동일 형상 구조물 시공시 동바리, 거푸집시공을 반복하지 않고, Service girder와 Sliding cantilever girder와 Hydraulic jack을 이용하여 교량을 한 경간씩 가설해 나가는 공법이다.

1959년 독일 Kettiger Hang교의 처음 적용된 후 국내에서는 1983년 노량대교, 올림픽대교에 적용한 바 있다.

### 4.2.2 장점

- 고도의 기계화 구동장치로써 신속, 확실한 시공을 할 수 있으므로 공사비, 공사기간을 단축할 수 있다.

- 산악과 계곡등 지상조건에 구애를 받지 않는다.

- 교각의 높이가 높을수록 더욱 경제적이다.  
- 일기의 영향을 받는 일이 적고, 단순 연속작업이므로 경제적인 시공이 가능하다.

### 4.2.3 종류

Service girder가 매달려 이동하는가 아니면 떠받쳐서 이동하는가에 따라 각각 상부식(hanger type)과 하부식(support type)으로 구분된다.

· 하부이동식

Rechen stab 방식 : 비계보와 추진보가 세산자 모양으로 이동

Kettiger Hang방식 : 비계보와 추진보가 독립적으로 이동

Mannesmann방식 : 비계보가 추진보역할

· 상부이동식 : Gerustwagen방식, FPS방식, PSC방식 이중 김포대교는 Mannesmann방식으로 시공되고 있다.

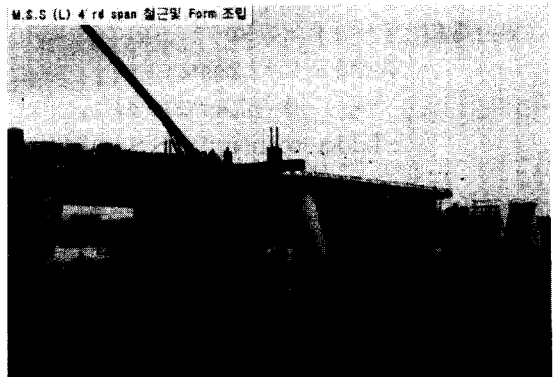


사진 1 M.S.S(L) 4경간의 철근 및 Form 조립

### 4.2.4 M.S.S. Truss의 구성과 운용

#### 1) 구성

본 교량의 M.S.S.는 Thyssen 제품으로

- Inner girder 1조
- Outer girder 2조
- Pier bracket 4조
- Rcb 2조

로 크게 구분한다.

여기서 ground form의 형태유지 및 중, 횡방향의 slope조정 및 상재하중을 부담하여 girder에 전달하며 중앙 girder에 위치한 ground frame과

sidepart에 위치한 sliding part로 대별된다.

2) 운용

M.S.S.의 운용은 pier bracket 설치, truss 이동, camber조정, rear cross beam 설치, truss 해체로 대별되며 part별 운용계획은 다음과 같다.

가) Pier bracket 설치

Pier에 거치, 부착되는 pier bracket는 10개의 dywidac bar(1개당 40톤)로 고정하며, 상부에 rail 및 girder pocket, launching jack, liftingjack, 횡방향이동 jack이 설치되어 truss 이동 및 조작을 한다.

나) Launching

Launching은 종방향과 횡방향 sliding part의 이동으로 대별된다.

① 종방향이동

Pier bracket 상부에 고정된 종방향 이동 jack이 girder rail을 감싸고 있는 잠금장치에 고정되어 launching시 잠그고 piston 후진시 풀고하는 동작을 반복한다.

② 횡방향이동

Pier bracket 상부에 고정된 jack에 의해 sliding part가 횡방향으로 이동하여 ground frame이 콘크리트 타설시 연결되고 launching시 박리된다.

③ Camber 조정

종방향 camber의 조정은 ground frame 및 sliding part의 spindle을 조작하여 조정하며, 횡방향 slope 조정은 bracket 상부 lifting jack에 의해 조정된다.

④ R.C.B.

Rear cross beam은 시공이음부의 단차발생을 방지하고, 재하 하중의 일부에 저항키 위해 설치된다.

⑤ 해체

조립의 역 순으로 시행.

4.2.5 상부공 시공순서

M.S.S. 상부시공은 진행에 따라 반복공종이 시행되며 그 시공순서는 다음과 같다.

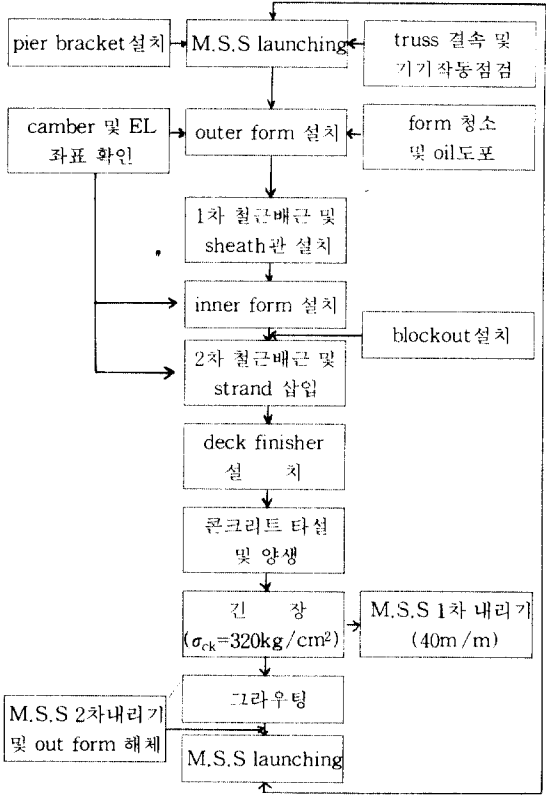


그림 2 작업 흐름도

4.3 F.C.M 공법

4.3.1 개요

캔틸레버공법은 1950년대 서독의 Dycherhoff und Widmann사에 의해 개발된 이후 유럽과 미국 등 선진국에서 장경간 교량가설에 사용되어온 공법이다.

이 공법은 시공시 교량 하부에 지지하도록 되어 있는 동바리를 사용하지 않고 이동식작업차(form traveller)를 이용하여 좌우로 평행을 유지하며 3~5m의 분할된 segment를 순차적으로 시공하는 방법이다.

긴장재의 재료면에서 볼 때 초기에는 강봉을 주 긴장재로 사용하는 추세이다. 이 공법에 의한 최초의 교량은 1950년 서독의 bahn교이고, 우리나라에서는 원효대교(경간: 100m), 상진교(경간: 95m) 강동대교(경간: 125m) 등이 있다.



나) 구조

① FRAME

- Longitudinal Frame
- Cross Truss
- Horizontal Truss

② FORM WORK

- Bottom Form Work
- Inner Form Work
- Outer Form Work

③ 유압장치

- Launching Cylinder (10T)
- Tension Cylinder (60T)
- Lifting Jack (150T)

④ 구동장치

- Rail
- Wheel

⑤ 고정장치

- Suspension Frame
- Launching Frame

다) 시공순서

표 4 시공순서

공 종	소요기간	비 고
Rail 설치	2일	Wood 받침 포함
상부설치	6일	Rhombus : 2일 Tross : 4일
중양부설치	5일	받침 Roller 설치 : 1일 내부 Form Roller : 2일 외부 Form Roller : 2일
하부설치	3일	
발판설치	3일	
계	19일	약 100톤



사진 2 F.C.M 작업전경

4) 처짐관리 (camber control)

가) 개요

김포대교의 F.C.M 구간을 시공중 처짐관리를 위한 camber 계산을 수행한다.

처짐 계산을 위한 상부구조의 형상, 단면 및 재료의 성질등은 원설계의 값을 적용하며, 해석을 위한 시공과정을 실제의 시공일정에 최대한 근접하도록 모델링하고, 시간경과에 따라 변형이 발생되는 크리프와 건조수축의 영향을 해석하기 위해 RM-SPACE FRAME PROGRAM(오스트리아 TUD 개발)을 이용 계산하였다.

나) 재료의 성질

① 콘크리트

$$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 3.39 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

② P.S 강재

- PS 강연선 ( $\phi 12.7 \text{ mm}$ , 0.5")

$$A_p = 98.71 \text{ mm}^2$$

$$E_p = 1.95 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_u = 18.7 \text{ 톤}$$

- 강봉

$$(\phi 38)$$

$$A_p = 11.40 \text{ cm}^2$$

$$E_p = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_u = 123 \text{ 톤}$$

$$(\phi 32)$$

$$8.04 \text{ cm}^2$$

$$2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$87 \text{ 톤}$$

다) 모델링

① 시공순서

② System modeling

(ㄱ) 종방향 단면

(ㄴ) 단면

(ㄷ) Segmentation

③ Tendon arrangement

라) 하중

① 사하중

(ㄱ) 콘크리트 자중 :  $2.5 \text{ t/m}^3$

(ㄴ) 포장 :  $1.488 \times 2.3 = 3.422 \text{ t/m}^2$

(ㄷ) 난간 :  $0.206 \times 2 \times 2.5 = 1.032 \text{ t/m}$

② Prestressing

-  $P_u$  : 18.7톤

- 즉시 손실후 허용력

$$(P_s) : P_u \times 0.7 = 13.09 \text{톤}$$

- $E_p : 1.95 \times 10^6 \text{톤} / \text{m}^2$
- Wedge Draw-in : 6mm
- Relaxation : 5%
- Jacking Force : 75% of  $P_u$
- Top Tendon 5-22 :  $18.7 \times 0.75 \times 22$   
= 308.55 tons
- Bottom Tendon 5-27 :  $18.7 \times 0.75 \times 27$   
= 378.675 tons
- Friction Value :  $\mu = 0.25, k = 0.005$

마) 크리프와 건조수축

계수는 CEB-FIP model code(1978)를 이용하여 계산한다.

① 크리프 변형률

$$\epsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c} \cdot \phi$$

$\epsilon_c$  = 콘크리트 변형률

$\sigma_c$  = 지속하중에 의한 응력 ( $\text{kg} / \text{cm}^2$ )

$E_c$  = 콘크리트 탄성계수 ( $\text{kg} / \text{cm}^2$ )

$\phi$  = 콘크리트의 크리프 계수

② 건조수축 변형률

$$\epsilon_c(t, t^0) = \epsilon_s \{ \beta_s(t) - \beta_s(t^0) \}$$

$\epsilon_c(t, t^0)$  = 콘크리트 재령  $t^0$ 일에서  $t$ 일까지의 건조 수축률

$\epsilon_s$  = 콘크리트의 기본 건조 수축률

$\beta_s(t, t^0)$  = 콘크리트 재령 ( $t, t^0$ ) 및 부재의 가상두께에 대한 함수

바) 처짐관리(camber control)

① 측량

(ㄱ) 측점위치

(ㄴ) 점검시기

- F/T 설치

- 타설후

- 긴장후

- F/T 이동후

② 조정

(ㄱ) 계산치와 실측치의 차이가 10mm 미만인 경우에는 조정하지 않음.

(ㄴ)  $10\text{mm} < d < 50\text{mm}$ 인 경우 : 다음 Segment에서 전 차이값을 보정.

(ㄷ)  $51\text{mm} < d < 100\text{mm}$ 인 경우 : 다음 Segment에서 마지막 값의 75% 조정.

(ㄹ)  $101\text{mm} < d$ 인 경우 : 다음 Segment에서 마지막 값의 50% 만큼 보정.

\* 10,000일 후에는 설계값에 근접하게 될 것이다.

## 5. 콘크리트의 품질관리

### 5.1 개요

본 공사의 콘크리트 품질 관리는 구조물의 안전성 및 내구성에 직결되는 매우 중요한 과제이다.

#### 5.1.1 콘크리트 Batcher Plant 설치 현황

120m<sup>3</sup>/HR 1대

90m<sup>3</sup>/HR 2대

\* 자동계량 및 기록장치 보유

#### 5.1.2 수중 콘크리트의 품질 관리

현장 타설 말뚝용 콘크리트는 수중에서 트레미 파이프를 이용 타설하므로써 생산, 운반 타설에 각별한 주의를 기울여야 한다.

공내 정수위를 유지하고 트레미 파이프에 물을 넣은후 콘크리트를 연속하여 타설하여야 하므로 아지테이터 및 배차 플랜트를 실, 소요 대수보다 여유있게 설치하고 있다.

양생후 기반암까지 코아 보링을 하여 전체적인 강도 변화를 확인하였다.

#### 5.1.3 상부 P.C. BOX용 고강도 콘크리트

(1) 배합설계표

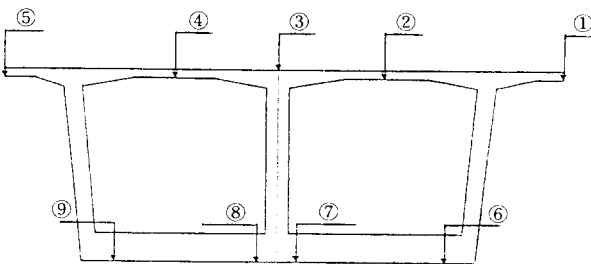


그림 6 측점위치

표 5 배합설계 결과

설계기준 강도(28)	굵은골재 최대입경	슬럼프	공기량	단위 수량 (W)	단위 시멘트량 (C)	물시멘트비 (W/C)	절대 산골재량 (S/A)	단위 산골재량 (S)	단위 굵은골재량 (G)	비 고
kg/cm <sup>2</sup>	m/m	cm	%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	
400	19	2.5	2.0	186	528	35.2	41	673	981	

5.2 골재 현황

골재원은 미사리 자연골재를 사용하고 있으며 마모, 비중, 알칼리 반응 시험 등은 양호한 편이다. 골재 야적장은 콘크리트로 바닥을 포장하고 칸막이를 설치하여 그 위에 트러스를 제작 덮개를 씌워 보관한다.

5.3 단위 수량

W/C를 최대한 적게하여 콘크리트의 내구성을 증가시키고, 건조 수축량을 최소화하기 위하여 고유동화제를 사용하였다.

5.4 양생

고강도 콘크리트의 단위 시멘트량이 많아 수화열 발생으로 인한 내·외부 온도차에 의한 균열을 방지하기 위하여 양생에 철저를 기한다.

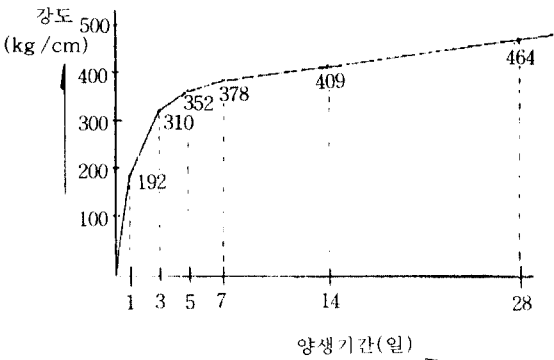


그림 7 강도변화 현황

6. 결 론

P.C. BOX 교량으로서 M.S.S.공법, F.C.M.공법, F.S.M.공법으로 시공되는 김포대교는 품질, 안전, 경제성, 내구성, 공기단축, 미관 등을 동시에 고려하므로써 성공적인 작품이 될 수 있도록 최선을 다하고자 한다.

구체적인 공법개선 사례로는,

1) M.S.S.공법 : 1경간당 소요작업시간을 줄이기 위하여 철근조립방법을 개선하고 이를 Cage화하고 있으며, pier bracket을 추가 구입하여 공기단축에 기여하고 있다.

2) F.C.M공법 : 강선 긴장시 jacking force, 신장율, Camber 관리 현황등을 컴퓨터 그래픽처리하여 항상 전구조물의 시공 품질관리상태를 파악하고 개선할 수 있도록 되어 있다.

3) F.S.M.공법 : 상부 Box 거푸집을 철재로 제작하여 표면콘크리트 상태를 양호하게 수밀성을 유지하며, 또한 내·외부 철재 거푸집 바닥에 레일을 설치하여 이동이 용이하게 하고 있다.

이 밖에도 많은 개선점을 연구개발중에 있으며, 이들이 곧 실행될 것임을 강조하면서 본고를 마무리하고자 한다. □